

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 6月13日

出願番号
Application Number:

特願2001-178107

出願人
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2001年 7月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3062761

【書類名】 特許願

【整理番号】 2926430031

【提出日】 平成13年 6月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/28

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
社内

 【氏名】 岸田 剛信

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
社内

 【氏名】 多田 慎也

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
社内

 【氏名】 池田 敦

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
社内

 【氏名】 原田 剛史

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
社内

 【氏名】 杉原 康平

【特許出願人】

 【識別番号】 000005821

 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された凹部を有する絶縁膜と、前記凹部内に形成されたバリアメタルと、前記凹部の前記バリアメタル上に形成された導電層とを備え、

前記導電層の結晶構造は面心立方格子であり、前記バリアメタルは、結晶構造が β 構造であるタンタルで構成されている、半導体装置。

【請求項 2】 前記バリアメタルは前記絶縁膜側から第 1 の層と第 2 の層との積層構造になっており、前記第 1 の層は窒化物であり、第 2 の層は、前記窒化物上に形成された結晶構造が β 構造であるタンタルである、請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】 前記バリアメタルの第 1 の層は窒化タンタルであり、前記導電層は銅である、請求項 2 に記載の半導体装置。

【請求項 4】 前記導電層の銅は、1 1 1 に配向しており、さらに前記銅の上には、前記凹部を埋める金属層が形成された、請求項 3 に記載の半導体装置。

【請求項 5】 前記窒化タンタル中のタンタルと窒素の原子数比（窒素／タンタル）が 0.4 以下である、請求項 3 に記載の半導体装置。

【請求項 6】 前記絶縁膜の成分に、タンタルと化合物を形成する原子を含んでいる、請求項 2 または 3 に記載の半導体装置。

【請求項 7】 基板上にバリアメタルを形成する工程と、前記バリアメタル上に導電層を形成する工程とを備え、

前記導電層の結晶構造は面心立方格子であり、前記バリアメタルは、結晶構造が β 構造であるタンタルで構成されている、半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 基板上に形成された凹部を有する絶縁膜を形成する工程と、前記凹部にバリアメタルを形成する工程とを備えた、請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 前記バリアメタルは前記絶縁膜側から第 1 の層と第 2 の層との積層構造になっており、前記第 1 の層は窒化物であり、第 2 の層は、前記窒化物

上に形成された結晶構造が β 構造であるタンタルである、請求項8に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記バリアメタルの第1の層は窒化タンタルであり、前記導電層は銅である、請求項9に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記導電層の銅は、111に配向するように形成され、さらに前記銅の上には、前記凹部を埋める金属層が形成された、請求項10に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記窒化タンタル中のタンタルと窒素の原子数比（窒素／タンタル）が0.4以下となるように形成する工程を有する、請求項10に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記絶縁膜の成分に、タンタルと化合物を形成する原子を含んでいる、請求項9または10に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置に関し、特に配線におけるバリアメタルに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、銅を主体とする多層配線を用いた半導体装置が実用化されてきている。図2は、銅の多層配線を用いた半導体装置の製造方法の工程断面図である。図2において、1は下層配線のバリアメタルである窒化タンタル、2は下層配線の銅の一部である銅シード層、3は下層配線の銅の本体である銅メッキ膜、4aは下層配線を形成する層間絶縁膜、4bは下層配線と上層配線の層間絶縁膜、4cは上層配線を形成する層間絶縁膜、5は上層配線のバリアメタルである窒化タンタル、6は上層配線の銅の一部である銅シード層、7aは上層の銅配線、8はヴィアホール、9はトレンチ、10a、10bは窒化膜である。

【0003】

銅配線の形成は、図2(a)のように、まず下層配線形成後、層間絶縁膜4b

を形成して、ヴィアホール8とトレンチ9を形成する。次に図2(b)に示すようにバリアメタルとして窒化タンタル5を反応性スパッタ法により形成し、さらにスパッタ法により銅シード層6を形成する。そして、図2(c)に示すように電解メッキ法により銅を成長させ、最後に図表面から化学的機械研磨(CMP)により銅配線7aを形成する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

銅多層配線において、バリアメタルである窒化タンタルと銅のシード層あるいは銅メッキ膜は密着性が悪い。従って、図2(d)に示すように、銅メッキ後の熱処理等でボイド11が発生し易いという問題がある。

【0005】

本発明は上記課題を解決するもので、バリアメタルに β 構造のタンタルを用いることにより、ヴィアホール内でのボイドの発生を防止する半導体装置とその製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明の半導体装置では、基板上に形成された凹部を有する絶縁膜と、前記凹部内に形成されたバリアメタルと、前記凹部の前記バリアメタル上に形成された導電層とを備えた半導体装置において、前記導電層の結晶構造は面心立方格子であり、前記バリアメタルは、結晶構造が β 構造であるタンタルで構成されている半導体装置とする。

【0007】

また基板上にバリアメタルを形成する工程と、前記バリアメタル上に導電層を形成する工程とを備え、前記導電層の結晶構造は面心立方格子であり、前記バリアメタルは、結晶構造が β 構造であるタンタルで構成されている半導体装置の製造方法とする。

【0008】

以上の構成により、銅とバリアメタル界面の濡れ性を改善することで密着性を向上させ、ヴィアの底部等のボイド発生を防止できる。よって高い歩留まりと高

い信頼性を持つ多層配線を有する半導体装置を製造することができる。

【0009】

【発明の実施の形態】

実施形態では、ビアホール中の銅のボイド発生を抑制するために、バリアメタルの構造について検討した。

【0010】

(第1の実施形態)

以下、本発明の一実施形態について図1を用いて説明する。

【0011】

図1において、シリコン基板には、凹部を有するシリコン酸化膜4aがあり、この凹部内には、結晶構造が β 構造のバリアメタル1aが形成されている。このバリアメタル1a上には、下層配線の銅の一部である銅シード層2が形成され、さらにこの上には下層配線の銅の本体である銅メッキ膜3が形成され凹部が埋めこまれ下層配線となる。

【0012】

層間絶縁膜4aの上には、下層配線と上層配線の層間絶縁膜(例えばシリコン酸化膜)4b、および上層配線が形成される層間絶縁膜(例えばシリコン酸化膜)4cが形成されている。層間絶縁膜4bおよび絶縁膜4cには下層配線との電氣的接続部を形成するためのビアホール8が形成され、また絶縁膜4cには上層配線形成のためのトレンチ9が形成されている。ビアホール8およびトレンチ9には、上層配線のバリアメタル5aとなる結晶構造が β 構造のタンタル、上層配線の銅の一部である銅シード層6、上層配線の銅の本体である銅メッキ膜7が形成されている。

【0013】

10aおよび10bはシリコン窒化膜であり、シリコン窒化膜10aは層間絶縁膜4aと4bとの間に形成され、シリコン窒化膜10bは層間絶縁膜4cの上に形成されている。

【0014】

ここでバリアメタル5aの結晶構造を、タンタルの β 構造としたことについて

説明する。バリアメタル層を「窒化タンタル」、「 α 構造タンタル」、「 β 構造タンタル」にし、それぞれのバリアメタル層の上に結晶構造が面心立方格子である、銅を形成し銅の密着性を比較する検討実験を行った。

【0015】

それぞれのバリアメタルの膜厚は30nmとし、バリアメタルはシリコン酸化膜上にスパッタにより形成した。その後、膜厚15nmの銅をスパッタで形成し、さらに温度450度で5分間熱処理した。熱処理後の銅表面の様子を示したのが図3である。

【0016】

バリア層をTa₂Nとした場合の平面図を(a1)に示し、断面図を(a2)に示している。この図からわかるように、銅はTa₂N上で凝集することがわかった。これはTa₂Nと銅との濡れ性が悪いことに起因する。同様にバリアが α 構造(α -Ta)のときも、図3(b1)、(b2)に見られるように、銅の凝集が見られた。バリアメタルをTa₂Nとした場合よりも銅の凝集度合いは小さく、銅のシード層が銅粒子の下に残存する。

【0017】

これに対し、バリアメタルの結晶構造が β 構造(β -Ta)である場合は、図3(c1)、(c2)に示すように、銅の凝集が見られず、タンタルと銅との密着性の良さを確認できた。このようにシード層となる銅と密着する部分は、バリア層が β 構造のタンタルがよいことがわかった。

【0018】

この実施形態ではバリア層を β -Taの単層構造としたが、バリア層を、 β -Taの下にバリア性の高い窒化タンタル(Ta₂N)を設けた積層構造にしてもよい。この場合でもシード層と密着するのは β -Taであり、 β 構造のタンタル上に形成した銅には凝集が見られない。

【0019】

次に製造方法について説明する。図1(a)に示すようにシリコン基板100上に下層配線層を形成する。SiO₂からなる層間絶縁膜4aを形成した後、この層間絶縁膜4aに凹部を形成し、ここに下層配線を形成する。凹部にはバリア

メタル 1 a および銅シード層 2 が形成されており、銅シード層 2 の上には、銅層 3 が凹部を埋めるように形成されている。

【 0 0 2 0 】

層間絶縁膜 4 a および銅層 3 の上に窒化膜 1 0 a を形成し、 SiO_2 からなる層間絶縁膜 4 b、4 c を CVD 法により堆積後、これらの層間絶縁膜 4 b、4 c にビアホール 8 を開口する。層間絶縁膜 4 c にトレンチ 9 を開口する。層間絶縁膜 4 a ~ 4 c には、シリコン酸化膜を用いている。

【 0 0 2 1 】

次に図 1 (b) に示すように、ビアホール 8 およびトレンチ 9 に上層配線のバリアメタル 5 a を形成する。ここではスパッタ法により、結晶構造が β 構造を有するタンタル結晶を形成する。この β 構造のタンタル 5 a 上にスパッタにより、銅シード層 6 を形成する。 β タンタル上に形成した銅のシード層 6 は、1 1 1 に高配向している。

【 0 0 2 2 】

図 1 (c) に示すように、このシード層 6 を用いて、電界メッキ法により銅層 7 を形成し、ビアホール 8 およびトレンチ 9 を埋めこむ。メッキで形成するビアホール 8 およびトレンチ 9 中の銅は 1 1 1 に配向し、大きなグレインサイズの銅が形成できるため、エレクトロマイグレーションに強く、銅メッキ膜 7 の断線を防止することができる。

【 0 0 2 3 】

電解メッキ法により銅膜を形成した後、図 1 (d) に示すように、 150°C 、60 分の熱処理を加えて CMP 法により研磨を行ない上層の銅配線 7 a を形成する。

【 0 0 2 4 】

(第 2 の実施形態)

この実施形態では、バリア層を積層とした、積層バリア膜を形成している。積層バリア層は、絶縁膜側から、窒化タンタル 5 と β 構造タンタル 5 a との積層膜となっている。また絶縁膜には FSG (フッ素ドーパのシリコン酸化膜) としている。

【 0 0 2 5 】

また β タンタルの下には、窒化タンタルを用いている。この理由は、絶縁膜を低誘電率膜であるFSG（フッ素ドーピングのシリコン酸化膜）を用いているからである。このFSGとタンタルとが直接接すると、熱処理中にフッ化タンタルが形成され、高抵抗かつ腐食性が高まることのないようにするためである。したがって、FSGと接する部分はTa_Nとし、銅のシード層と接する部分には β 構造のタンタルを用いている。

【 0 0 2 6 】

このようにすることにより絶縁膜に低誘電率として、フッ素等がドーピングされたシリコン酸化膜を用いた場合でも、タンタルとの間での不要な化合物が発生することを防止でき、シート抵抗の上昇を防止できる。またシード層となる銅との間でも濡れ性も確保でき、はがれ等の不良発生を防止できる。

【 0 0 2 7 】

この積層バリア層の上層の銅と密着する部分に、 β 構造のタンタルを用いた半導体装置の製造方法について説明する。

【 0 0 2 8 】

まず、図4（a）に示すようにシリコン基板100上にはフッ素ドーピングシリコン酸化膜（以下、FSGと称す）4aがCVD法により堆積され、この絶縁膜4aに下層配線層を形成する。絶縁膜4aには凹部が形成され、凹部には、Ta_N層1、 β -Ta層1a、銅シード層2、および銅メッキ層3が形成されている。これらにより下層配線が構成されている。

【 0 0 2 9 】

絶縁膜4aおよび銅メッキ層3の上には、シリコン窒化膜10aが形成され、さらにCVD法により、FSGからなる層間絶縁膜4b、およびFSGからなる層間絶縁膜4cを堆積する。

【 0 0 3 0 】

続いて、層間絶縁膜4bおよび4cに、ビアホール8を開口し、続いて層間絶縁膜4cにトレンチ9を開口する。層間絶縁膜4a～4cには、FSG（フッ素ドーピングのシリコン酸化膜）を用いている。

【0031】

次に図4 (b) に示すように、上層配線のバリアメタルを形成する。ビアホール8およびトレンチ9の内部に、窒化タンタル5を反応性スパッタ法により形成する。このとき窒素の分圧比（窒素／（窒素＋アルゴン））が30%以下となるようにスパッタ装置を設定する。この結果、形成された窒化タンタルにおけるタンタルと窒素の原子数比（窒素／タンタル）は40%以下となる。次に、タンタルをスパッタすることで、 β 構造を有するタンタル結晶を得る。

【0032】

タンタルはその下層のTa-Nの窒素濃度を調整することにより、容易に形成できることがわかった。よって β 構造のタンタルを形成するためには、下層のTa-Nの形成方法も検討した。本実施形態の検討では、窒素の濃度を小さくする（Ta-NのNの原子数比を40%以下）ことにより、安定して β 構造のタンタルを形成することができる。

【0033】

この β 構造のタンタル5a上にスパッタにより、銅シード層6を形成する。 β タンタル上に形成した銅のシード層6は、111に高配向している。それを示すのが図7である。このX線のロッキングカーブにより、 β タンタル上のシード層は高配向性をもつ。バリアメタル β -Ta上に銅のシード層6を形成することでCu(111)結晶面配向のロッキングカーブ半値幅 $< 2^\circ$ の非常に結晶性の高い銅膜が得られることがわかる。

【0034】

図4 (c) に示すようにこの β -Ta 5a上の銅シード層6をシードとして、電界メッキ法により銅を形成することにより、メッキで形成するビアホール中の銅も111に配向し、大きなグレインサイズの銅が形成できるため、エレクトロマイグレーションに強く、断線を防止することができる。

【0035】

電解メッキ法により銅膜を形成した後、図4 (d) に示すように150℃、60分の熱処理を加えてCMP法により研磨を行ない銅配線7aを形成する。

【0036】

以上のように本実施形態では、バリア層を窒化タンタルとその上に形成した β タンタルとの積層構造としている。これにより β タンタル上の銅シード層の濡れ性（バリアメタル表面での塗れ性）が向上するので、ビアホール内でのボイドの発生を防止することができる。

【0037】

（タンタルについての考察）

タンタル（Ta）には、立方晶と正方晶の結晶構造があり、それぞれ α -Ta、 β -Taと呼ばれている。図5は、インプレーンX線回折法で測定した回折パターンである。 α -Taと β -Taは結晶構造の違いから、異なる回折角に回折線が観測され、両者を明確に判別することができる。それぞれのTaの結晶構造について、 α -Taは単位胞の一边が約3.3オングストロームの立方晶であるのに対して、 β -Taは $a=b$ ≈約10.2オングストローム、 c ≈約5.3オングストロームの直方体となっており、 α -Taに比べてかなり体積の大きいことがわかる。

【0038】

図5に示したX線回折パターンから α -Ta、 β -Taはそれぞれ試料表面に対して $\langle 110 \rangle$ 軸、 $\langle 001 \rangle$ 軸を垂直に立てた成分が多いことがわかる（図6参照）。 α -Taは体心立方構造（bcc）なので、最も原子密度の高い（110）面が試料表面と平行になることは理にかなっている。

【0039】

β -Taは α -Taと比べて、最表面の原子の密度が低いと考えられる。ところで、バリアメタルの上に成膜されるCuは面心立方構造（fcc）である。fcc構造では（111）面が最も原子密度の高い面であり、この面が試料表面と平行になることがエネルギー的に安定である。

【0040】

Ta上にCu（111）面を積み上げていくとき、 α -Ta（110）面上ではTa原子の原子間隔がCuのそれより小さく、Cu原子から見れば α -Ta（110）面は平坦性が悪く感じられると思われる。すなわち、 α -Ta（110）面上ではCu（111）面がきちんと試料表面と平行に積み上がらないと考え

られる。

【0041】

一方、 β -Ta (001) 面上ではTa原子の間隔が α -Taに比べてかなり広く、Cu原子が自由に、すなわち最も自然な状態で積み上がると思われる。実際に、 α -Taおよび β -Ta上に成膜したCu膜の(111)配向性を評価した結果を図7に示す。Cu膜の下地が α -Taであるときと比べて β -Taであるときの方がロッキングカーブの半値幅が狭く、すなわちCu(111)配向性が高いことがわかる。

【0042】

したがって、バリアメタルを β -Ta構造とし、かつ(001)面が試料表面と平行になるように成膜することによって、Ta上に成膜したCuの(111)配向性を高くすることができ、Cu配線の信頼性向上に役立つと考えられる。

【0043】

本実施形態では、タンタル系バリアメタルの上に銅を形成した場合について説明したが、銅以外の元素、銀、金のような面心立方格子の構造を持つものにも応用できる。

【0044】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、タンタル系バリアメタルにおいて、銅を密着する側のタンタルの結晶構造を β 構造とすることで銅との濡れ性が改善することができ、ビアホール底部でのボイドを防止することができる。この結果高い歩留まりと高い信頼性を持つ多層配線を有する半導体装置を製造することができる。銅に限らず面心立方格子の結晶を持つものであればよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1の実施形態である単層バリアを用いた半導体装置の工程断面図

【図2】

従来のバリア層を用いた半導体装置の製造工程断面図

【図3】

バリアメタルの種類による銅の凝集度合いを示す図

・ 【図4】

・ 第2の実施形態である積層バリア構造を用いた半導体装置の工程断面図

・ 【図5】

α -Taと β -TaとのX線回折の特性図

【図6】

α -Taと β -Taの結晶の配向性を示す図

【図7】

バリアメタル上に形成した銅膜の配向性を示した図

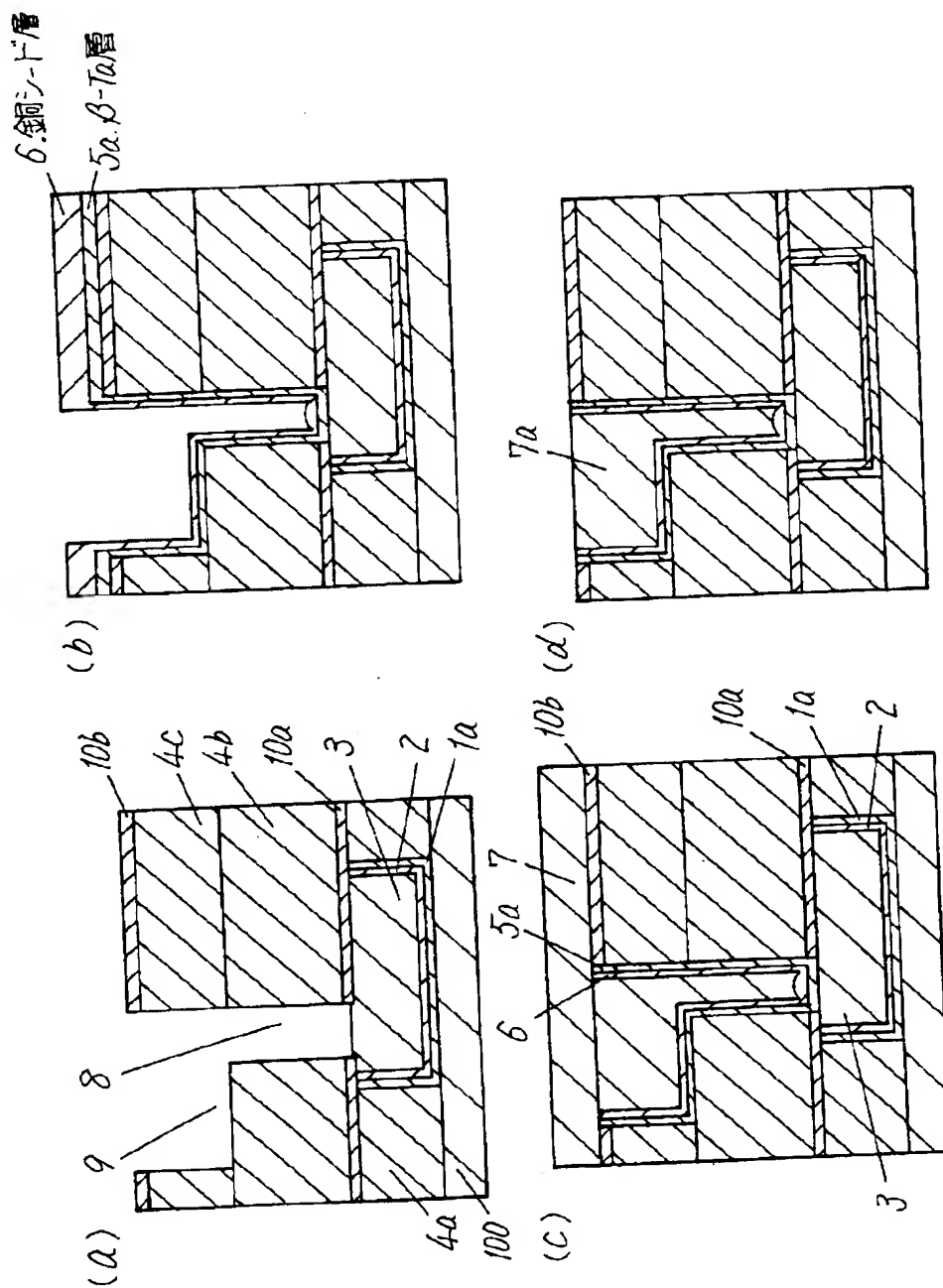
【符号の説明】

- 1 下層配線のバリアメタル（窒化タンタル）
- 1 a 下層配線のバリアメタル（ β 構造タンタル）
- 2 下層配線の銅シード層
- 3 下層配線の銅メッキ膜
- 4 a 層間絶縁膜
- 4 b 層間絶縁膜
- 4 c 層間絶縁膜
- 5 上層配線のバリアメタル（窒化タンタル）
- 5 a 上層配線のバリアメタル（ β 構造タンタル）
- 6 上層配線の銅シード層
- 7 上層配線の銅メッキ膜
- 8 ヴィアホール
- 9 トレンチ
- 10 a シリコン窒化膜
- 10 b シリコン窒化膜
- 11 ボイド

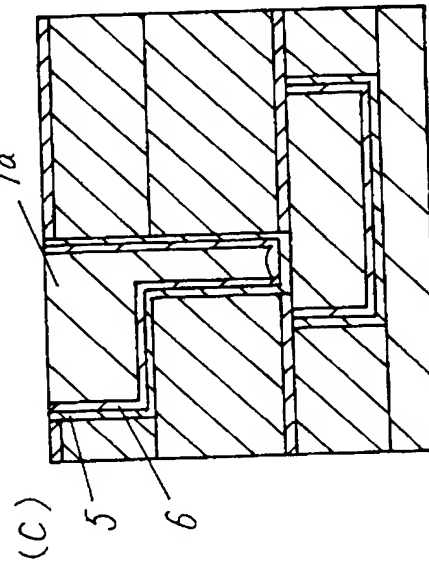
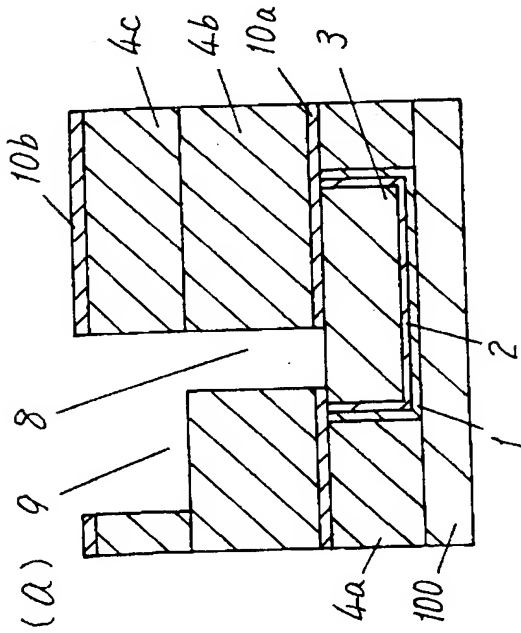
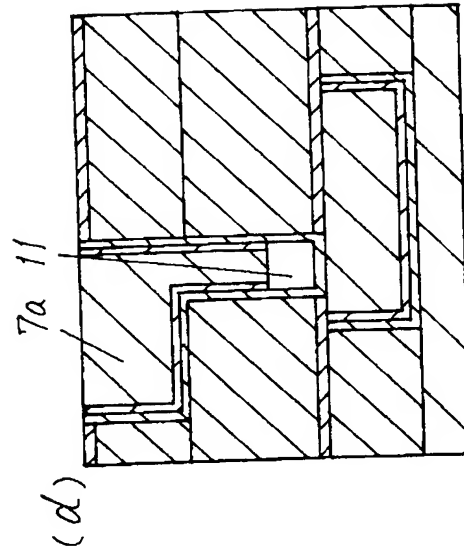
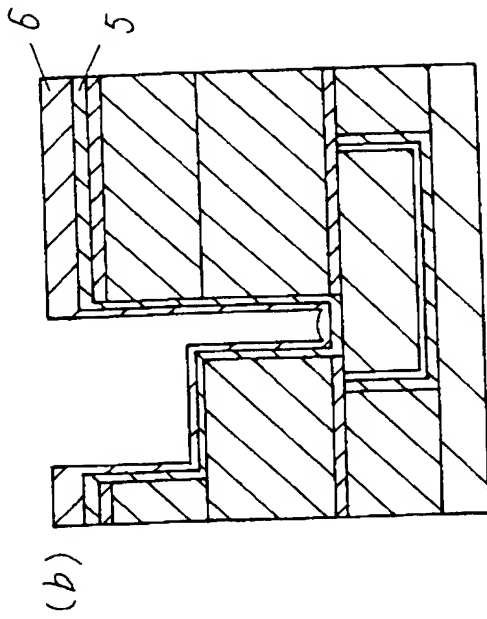
【書類名】

図面

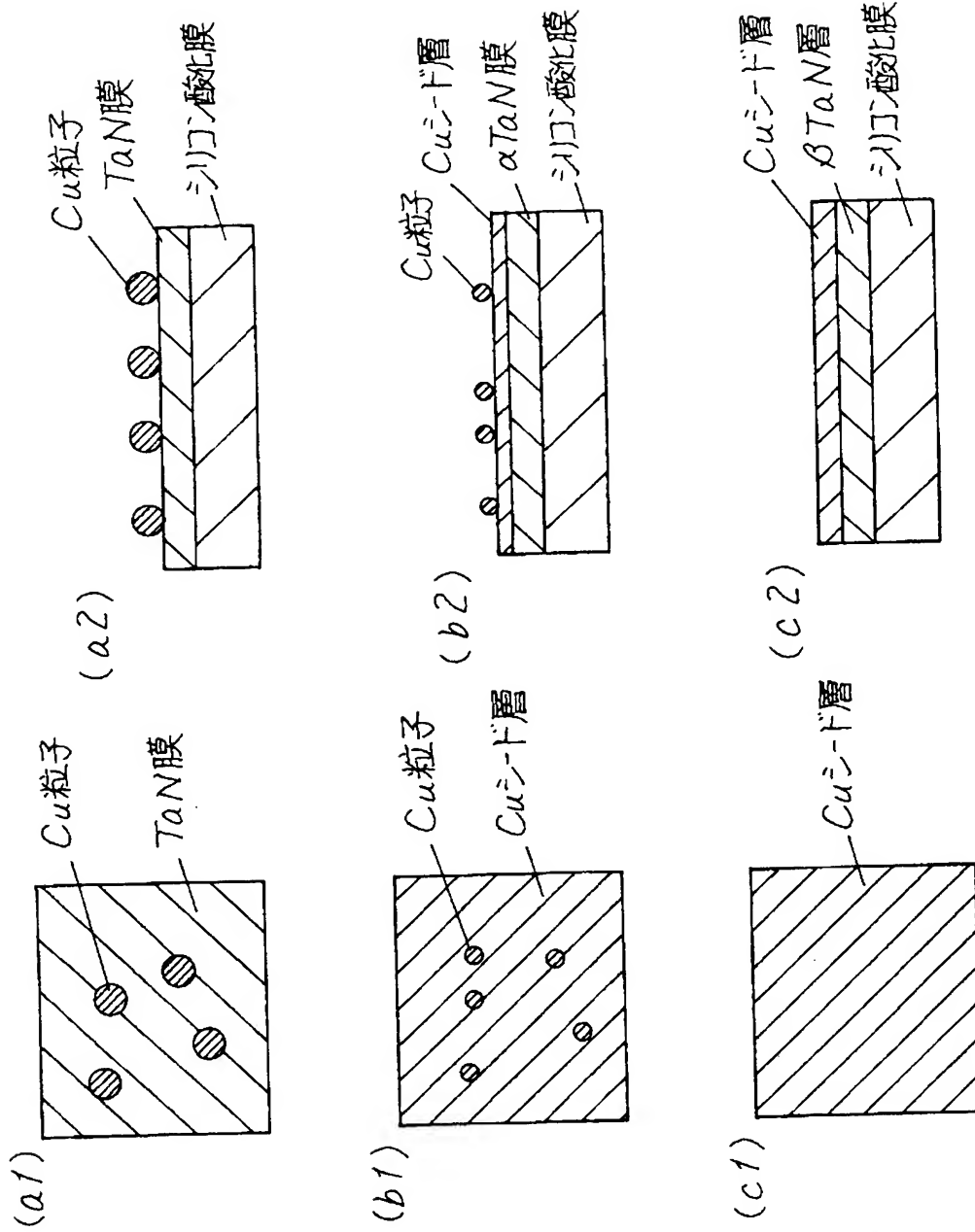
【図1】



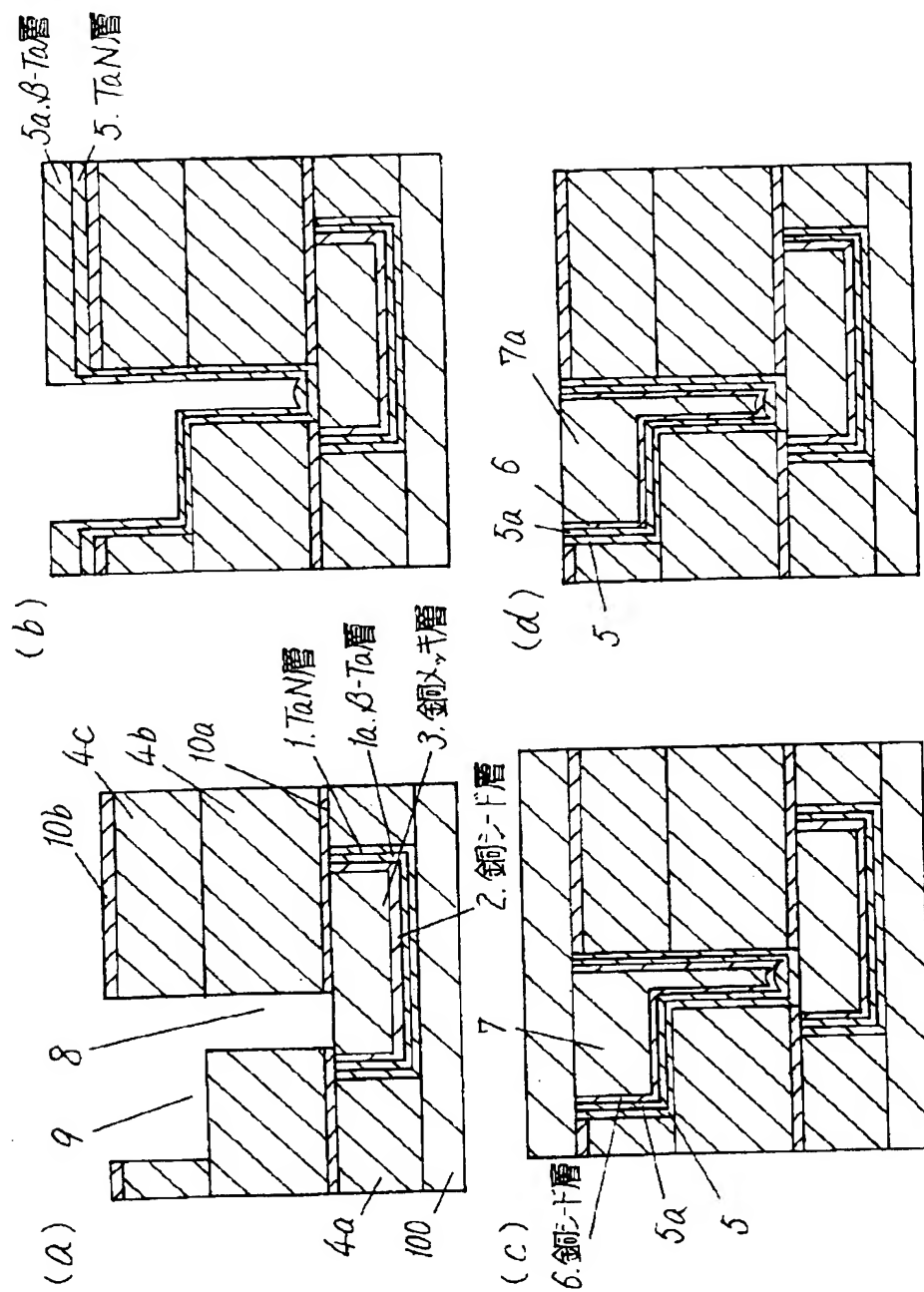
【図2】



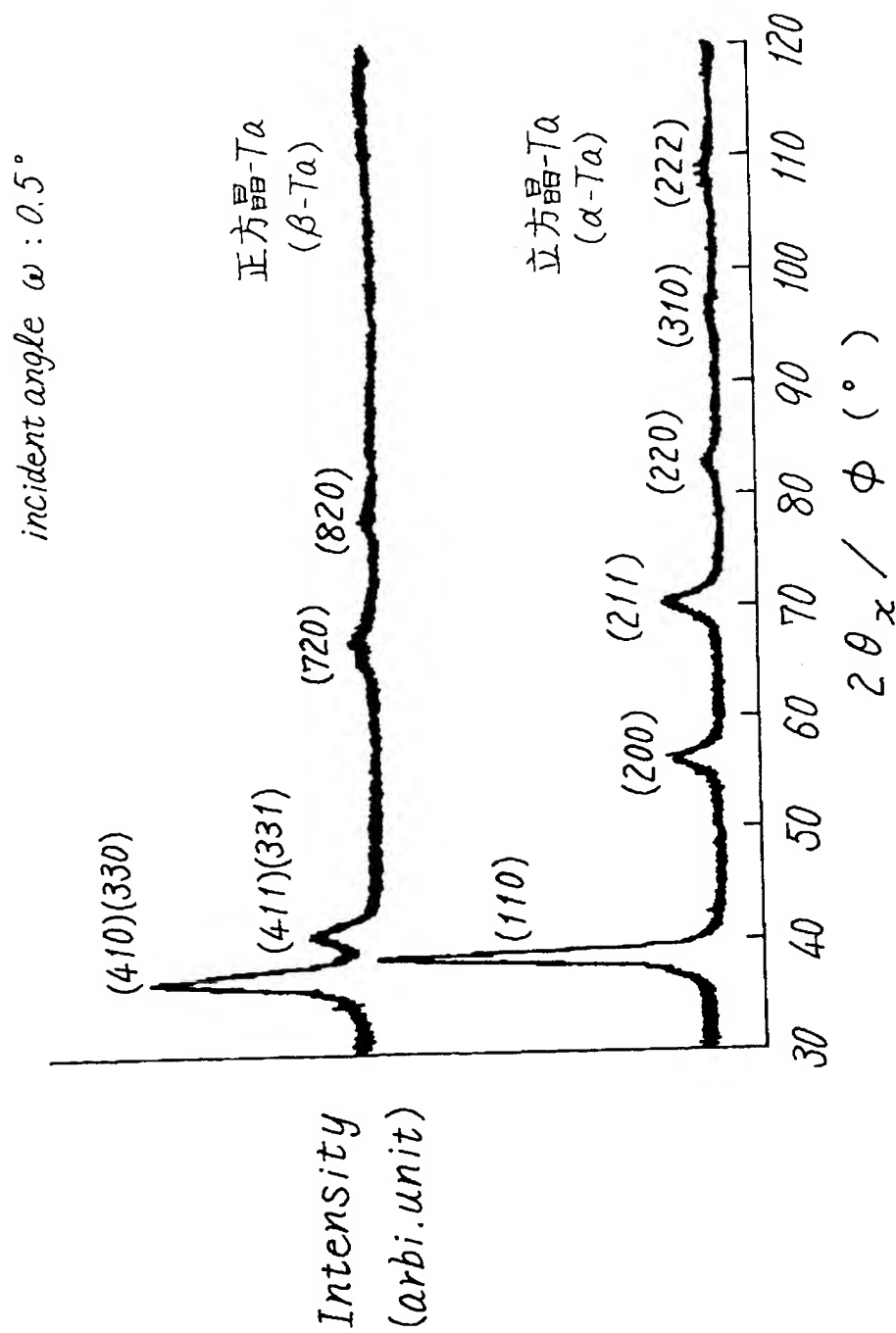
【図3】



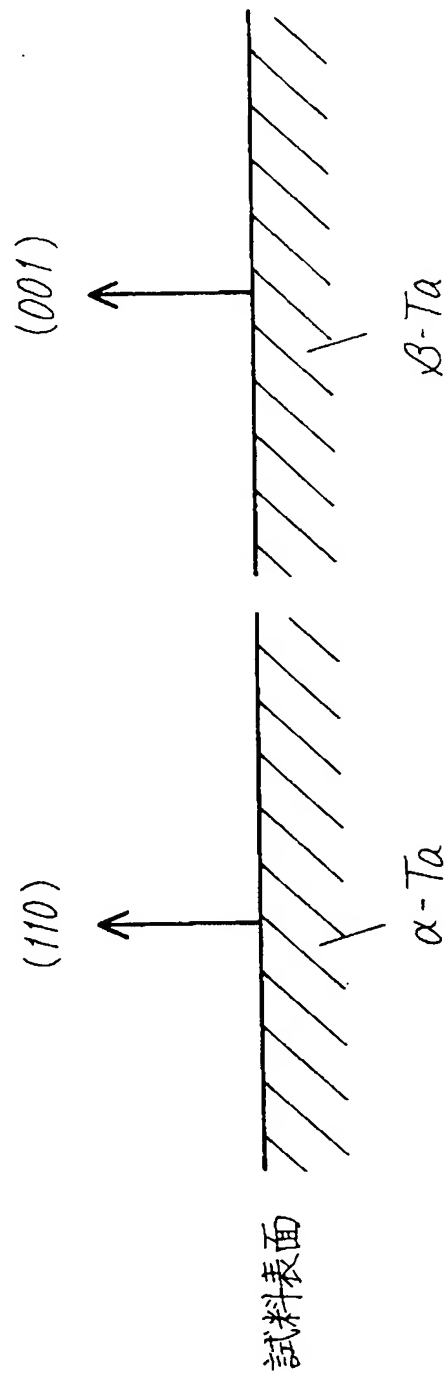
【図4】



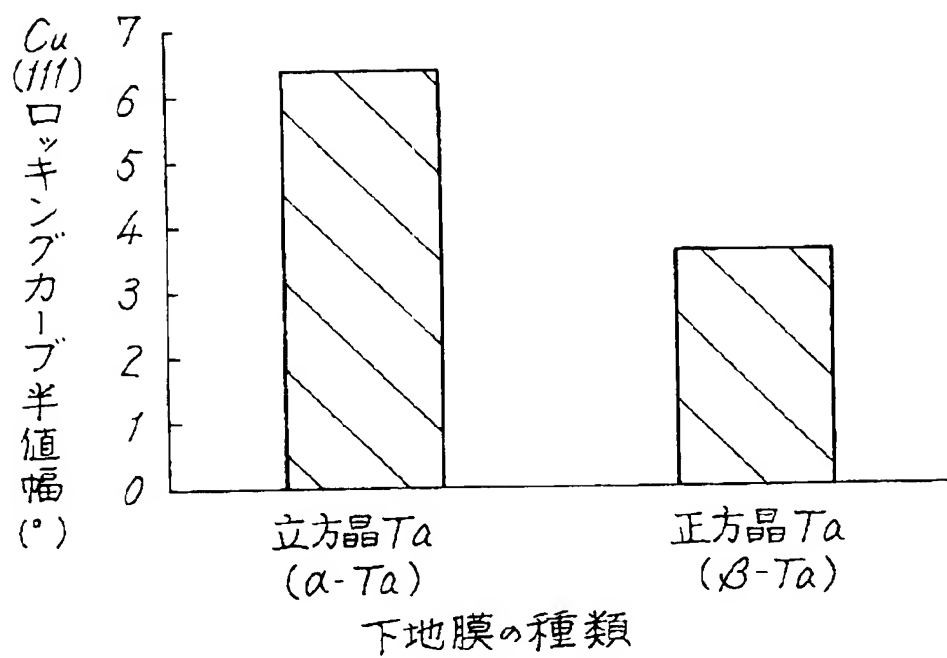
【図 5】



【図6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

▼ 【課題】 ヴィアホール内でのボイドの発生を防止する半導体装置を提供する。

【解決手段】 シリコン基板 1 0 0 上には、凹部を有するシリコン酸化膜 4 a が形成され、この凹部内には、結晶構造が β 構造のバリアメタル 1 a が形成されている。このバリアメタル 1 a 上には、下層配線の銅の一部である銅シード層 2 が形成され、さらにこの上には下層配線の銅の本体である銅メッキ膜 3 が形成され凹部が埋めこまれ下層配線となる。下層配線と上層配線の層間絶縁膜 4 b が形成され、上層配線のバリアメタル 5 a である β 構造のタンタル、上層配線の銅の一部である銅シード層 6、上層配線の銅の本体である銅メッキ膜 7 が形成されている。ここでバリアメタルを、 β 構造のタンタルとすることにより、銅との濡れ性を改善でき、ヴィアホール底部でのボイドの発生を防止できる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名	松下電器産業株式会社